

# LA GEOLOGIA NEL MONDO DEL LAVORO

SEMINARI DI ORIENTAMENTO PER GLI STUDENTI  
DEL 3° ANNO DELLA LAUREA IN SCIENZE GEOLOGICHE

LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO:  
SCELTA E VALUTAZIONE

(in memoria di Massimo Parente)

Roma, 17 marzo 2023

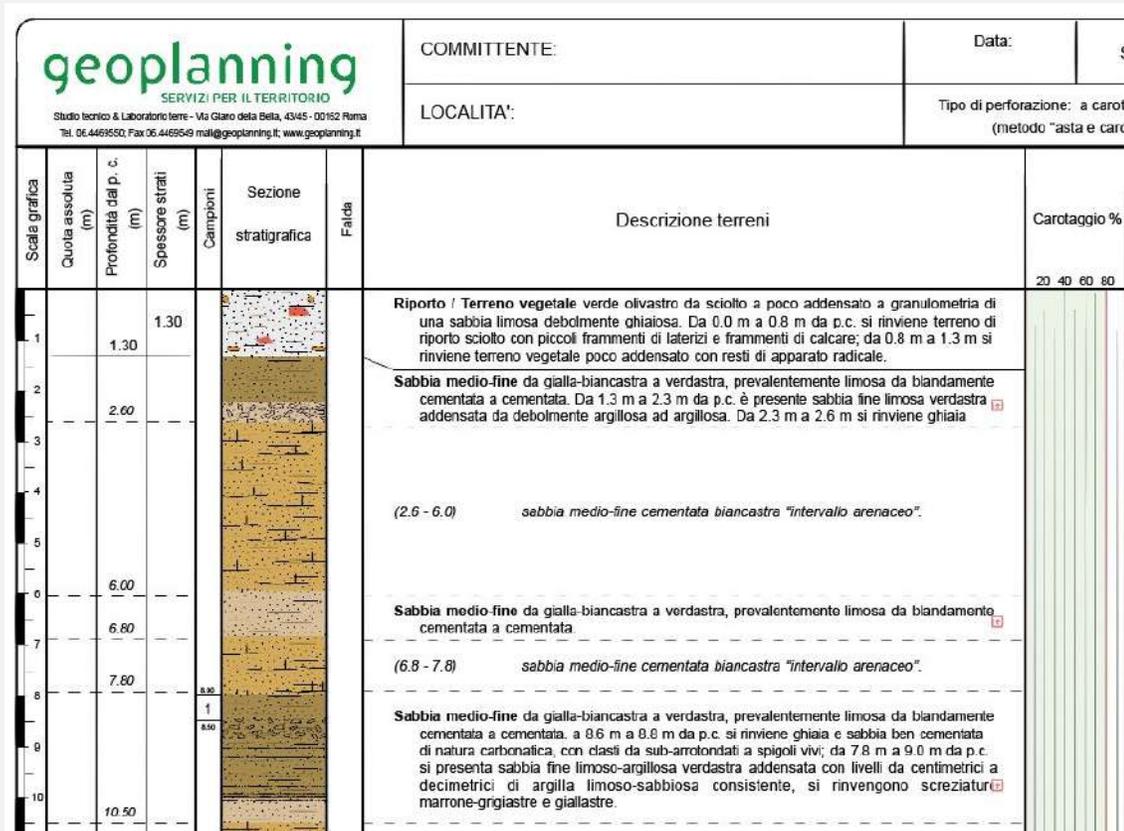
Stefano Cianci



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione  
Stefano Cianci 17/03/2023

# «La caratterizzazione geotecnica mediante prove di laboratorio»

## N. 49-2016 notiziario Professione Geologo dell'Ordine dei Geologi del Lazio



TIPO DI TERRENO	PROVE DI LABORATORIO												PROVE IN SITO									
	PROPRIETA' INDICI						PROVE MECCANICHE E IDRAULICHE						PROVE PENETROMETRICHE STATICHE			PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE			P SCISSOMETRICHE	PROVE DI CARICO SU PIASTRA		P PERMEABILITA'
	Q1 e Q2			Q3 e Q4			Q5						Resistenza alla penetrazione	Coesione non drenata	Resistenza punta/ laterale	N° di colpi	Densità Relativa	Angolo di attrito		Coesione non drenata	Cedimenti	
Granulometria	Limiti di Atterberg	Peso specifico	Compattazione	Contenuto d'acqua E Satur.	Peso di volume e porosità/vuoti	Prova compressione	Resistenza non drenata	Resistenza drenata	Deformabilità	Consolidazione	Permeabilità											
GHIAIE	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	
SABBIE	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	?	-	X	X	X	
LIMI INORGANICI	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-	
LIMI ORGANICI	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	?	X	X	-
ARGILLE	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-
ARGILLE ORGANICHE	X	X	X	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-
ARGILLE SCAGLIOSE	?	?	X	?	X	X	X	?	?	?	?	?	?	?	-	-	-	-	X	X	-	
TORBE	-	-	?	-	?	X	X	?	?	?	X	?	X	-	X	-	-	?	X	X	-	
TERRENI VULCANICI	X	-	X	X	?	?	?	?	?	?	?	X	X	-	?	?	?	-	X	X	X	
ARGILLITI	?	?	X	-	X	?	X	?	?	?	?	?	?	-	-	-	-	-	X	X	?	
ROCCHE TENERE	-	-	X	-	X	X	X	-	X	X	-	?	-	-	-	-	-	-	X	X	X	
ROCCHE	-	-	X	-	-	X	X	-	X	X	-	?	-	-	-	-	-	-	X	X	X	

(X) informazione significativa

(-) informazione non significativa o non possibile da ottenere

(?) informazione significativa solo in alcuni casi

## SCAVI NON CONTRASTATI

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine (A1, A2)	Cu (SLU)	Triassiale CIU <sup>1</sup> Triassiale UU <sup>2</sup> Prove ELL <sup>3</sup>	Prove ELL, scissometriche di laboratorio e Torvane sono da ritenersi indicative <sup>3</sup>
Stabilità a lungo termine <sup>4</sup> (A1, A2)	c' (SLU) φ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU <sup>5</sup> Taglio Diretto <sup>6</sup>	Condizione di picco •
	φ <sub>cv</sub> (SLU)	Taglio diretto/ Triassiale CID <sup>7</sup> Taglio diretto rimaneggiato al LL, Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	φ <sub>r</sub> (SLU)	Taglio anulare e "Taglio diretto in modalità reverse" <sup>8</sup>	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi
Cedimenti del terreno e delle strutture circostanti per aggotamento dell'acqua durante gli scavi (SLE)	C <sub>c</sub> E <sub>d</sub> C <sub>v</sub> k	Prove edometriche  Prove di permeabilità	Nel caso di terreni granulari dovrà inoltre essere analizzata la possibilità di erosione interna del terreno
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	k <sub>v</sub>	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro
Rigonfiamento del terreno (SLE)	Pressione di rigonf. Deformaz. di rigonf. Potenziale di rigonf.	Prova di ringofiam. in edometro Prova di ringofiam. in edometro Prova edometrica in mod. Huder-Amberg	

## OPERE DI FONDAZIONE SUPERFICIALI

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Verifica della resistenza del complesso terreno-opera di fondazione a lungo termine (A1, A2)	c' (SLU) φ' (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU <sup>9</sup> Taglio diretto <sup>8</sup>	Il ricorso a parametri non di picco dipende dal progettista geotecnico che dovrà dare indicazioni in merito
Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni e delle opere adiacenti in condizioni non drenate (SLE)	Eu	Triassiale UU	Cedimenti immediati
Valutazione dei cedimenti al di sotto delle fondazioni e delle opere adiacenti in condizioni drenate (SLE)	E <sub>d</sub> C <sub>c</sub> C <sub>v</sub>	Prove edometriche <sup>10</sup>	Cedimenti edometrici
	E <sub>Young</sub>	C <sub>v</sub> Triassiale CID Prove edometriche <sup>9,10</sup>	Cedimenti elastici
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	k <sub>v</sub> k <sub>h</sub>	Prove di permeabilità in edometro/triassiale	
	k <sub>v</sub>	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro

## OPERE DI SOSTEGNO

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Stabilità a breve termine delle opere di sostegno (A1, A2)	$c_u$ (SLU) $e_u$ (SLE)	Triassiale CIU <sup>*1</sup> Triassiale UU <sup>*2</sup>	.
Stabilità a lungo termine delle opere di sostegno (A1, A2)	$c'$ (SLU) $\phi'$ (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU <sup>*10</sup> Taglio diretto <sup>*5</sup>	Condizione di picco
	$\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto Triassiale CID <sup>*6</sup> Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	$E_{Young}$ (SLE) $\nu$ (SLE)	Triassiale CID	
Valutazione allo scorrimento (A1, A2)	$\phi'$ (SLU) $\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto Triassiale CIU <sup>*5</sup> Triassiale CD	$c' = 0$ (in sicurezza)
	$c_u$ (SLU)	Triassiale CIU Triassiale UU	L'Adesione è funzione di $c_u$
Valutazione della capacità portante della fondazione profonda) dell'opera di sostegno (A1, A2)			(Cfr. casi applicativi precedenti: fondazione superficiale o
Sifonamento del fondo dello scavo sotto falda (HYD)	$k_v$	Prove di permeabilità	Su terreni granulari è preferibile la prova in foro

## PENDII IN TERRA

PROBLEMATICHE	PARAMETRI GEOTECNICI	PROVE DI LABORATORIO STANDARD	NOTE
Analisi di stabilità (GEO; EQU)	$c'$ (SLU) $\phi'$ (SLU)	Triassiale CID Triassiale CIU <sup>*10</sup> Taglio diretto <sup>*5</sup>	Condizioni di picco
	$\phi_{cv}$ (SLU)	Taglio diretto rimaneggiato al LL Taglio diretto in modalità reverse	Condizione di rottura con dislocazione limitata
	$\phi_r$ (SLU)	Taglio anulare	Condizione di rottura con dislocazione estesa su terreni coesivi

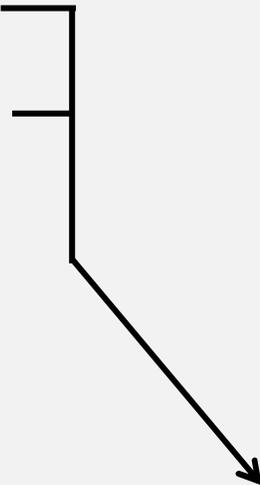
# IL LABORATORIO DEVE ESSERE

## Autorizzato ai sensi

- **del D.P.R. 380/2001, Art. 59**
- **della Circolare II.TT. 7618/10 STC  
Settore A (terre) e/o B (rocce)**

## Di assoluta fiducia

- **personale esperto**
- **tempi congrui**



Purtroppo di fatto  
l'autorizzazione in  
se' non garantisce  
livelli qualitativi  
adeguati

## PROVE DI LABORATORIO SULLE TERRE

- Contenuto d'acqua allo stato naturale
- Peso dell'unità di volume
- Peso dell'unità di volume dei granuli solidi
- Analisi granulometrica per sedimentazione e per setacciatura
- Limiti di consistenza o di Atterberg (Liquido, Plastico, di Ritiro)
- Prova di compressione uniassiale non confinata - ELL
- Prova edometrica
- Prove di rigonfiamento
- Prova di taglio diretto con apparecchio di Casagrande
- Prove di compressione triassiale (UU, CIU e CID)
- Prova di compattazione con modalità AASHTO standard o modificata
- Prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR
- Prova di permeabilità con permeametro a carico variabile o costante
- Prova di permeabilità in cella edometrica o cella triassiale
- Densità relativa
- Contenuto in sostanze organiche
- Tenore dei carbonati, pH
- Prove in colonna risonante (RC) (basse e medie deformazioni)
- Prove triassiali cicliche (TxC) (elevate deformazioni)
- Taglio torsionale ciclico (TTC) (elevate deformazioni)
- Carico su piastra
- Densità in sito
- K<sub>0</sub>
- Huder-Amberg
- Prove di carico su pali

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

# Classi di qualità dei campioni secondo AGI

A) Campionatore pesante infisso a percussione B) Campionatore a parete sottile infisso a percussione C) Campionatore a parete sottile infisso a pressione D) Campionatore a pistone infisso a pressione E) Campionatore a rotazione a doppia parete con scarpa avanzata					
TIPO DI TERRENO	TIPI DI CAMPIONATORE				
	A	B	C	D	E
a) coerenti poco consistenti		Q 3	Q 4	Q 5	
b) coerenti moderatamente consistenti o consistenti	Q 3 (4)	Q 4	Q 5	Q 5	Q 5
c) coerenti molto consistenti	Q 2 (3)	Q 3 (4)	Q 5*		
d) sabbie fini al di sopra della falda	Q 2	Q 3	Q 3	Q 3 (4)	
e) sabbie fini in falda	Q 1	Q 2	Q 2	Q 2 (3)	
N.B.: Si indicano tra parentesi le classi di qualità Q raggiungibili con campionamento molto accurato. * In terreni coesivi con resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile $>1\div2 \text{ Kg/cm}^2$ (100÷200 KN/m <sup>2</sup> ) può risultare possibile ottenere campioni indisturbati di lunghezza adeguata.					

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q.1.	Q.2.	Q.3.	Q.4.	Q.5.
a) Profilo stratigrafico	x	x	x	x	x
b) Composizione granulometrica		x	x	x	x
c) Contenuto d'acqua naturale			x	x	x
d) Peso dell'unità di volume				x	x
e) Caratteristiche meccaniche (resistenze, deformabilità, etc.)					x
	Campioni disturbati o rimaneggiati			a disturbo limitato	indisturbati

Classi di qualità dei campioni ottenibili da diversi campionatori secondo AGI

Proprietà del terreno/Classe di qualità	1	2	3	4	5
<b>Caratteristiche invariate del terreno</b>					
Granulometria	x	x	x	x	
Contenuto d'acqua	x	x	x		
Densità, indice di densità, permeabilità	x	x			
Compressibilità, resistenza a taglio	x				
<b>Proprietà che possono essere determinate</b>					
Sequenza di strati	x	x	x	x	x
Delimitazione degli strati – generica	x	x	x	x	
Delimitazione degli strati – precisa	x	x			
Limiti di Atterberg, densità delle particelle, contenuto organico	x	x	x	x	
Contenuto d'acqua	x	x	x		
Densità, indice di densità, porosità, permeabilità	x	x			
Compressibilità, resistenza a taglio	x				
<b>Categoria di campionamento da utilizzare</b>					
	A				
	B				
				C	

## Classi di qualità dei campioni secondo l'Eurocodice

Campioni cubici, campionatori ad infissione (shelby, osterberg)

Categoria A: permette di ottenere campioni indisturbati o con disturbi leggeri (parametri indice e chimici inalterati)

Categoria B: permette di ottenere campioni con disturbi moderato (W e composizione chimica inalterata, ma struttura disturbata)

Categoria C: permette di ottenere campioni disturbati (parametri indice e chimici modificati)

Campionatori doppi (Mazier)

Da trivellazioni

# DISTURBO DEL CAMPIONE

## Possibili fonti di disturbo:

- annullamento del deviatore dello stato tensionale in sito.
- rigonfiamento del terreno dovuto alla riduzione delle tensioni efficaci durante la perforazione;
- compressione del terreno per effetto dell'eccessiva sollecitazione prodotta dall'avanzamento del campionatore;
- presenza di materiale rimaneggiato a fondo foro;
- disturbi prodotti dalla penetrazione del campionatore;
- disturbo prodotto dal tipo di avanzamento;
- trasporto;
- conservazione;
- estrusione.

## Rimedi:

- inevitabile.
- evitare soste tra fine perforazione ed inizio del campionamento;
- evitare che la testa del campionatore sia infissa al di sotto del fondo foro;
- pulizia del fondo foro;
- usare campionatori con adeguati valori dei fattori geometrici;
- avanzamento a pressione;
- evitare scossoni e variazioni di temperatura;
- conservare in luoghi a temperatura ed umidità controllati;
- estrarre il campione con continuità evitando ulteriori deformazioni.

# LA DESCRIZIONE (meglio se con foto)

Geometria

Granulometria

Colore

Misure di resistenza speditiva (pocket penetrometer test e vane test)

“Struttura”

Eventuali riferimenti al comportamento dedotto dai Limiti di Atterberg

Reattività all'HCl

Odore (se presente)

Riferimenti alla “natura” del materiale (è interessante se il materiale è di natura vulcanica)

Eventuale descrizione dei clasti, se rilevante (bioclasti, arrotondamento, eterogeneità, ecc.)

# LA GRANULOMETRIA SECONDO INDICAZIONI AGI

Frazione maggiore → Tal quale

Frazioni successive → ... con (se presenti con percentuale  $\geq 25\%$ )

→ ... --osa (se presenti con percentuale  $25\% > P \geq 10\%$ )

→ ... debolmente --osa con (se presenti con percentuale  $> 10\% P \geq 5\%$ )

# IL GRADO DI CONSISTENZA

Secondo il valore del pocket su terreni in prevalenza argilloso-limosi

Pocket (Kg/cm <sup>2</sup> )	Consistenza
< 0.25	Molto molle
0.25 – 0.50	Molle
0.50 – 1.00	Plastico
1.00 – 2.00	Consistente
2.00 – 4.00	Molto consistente
> 4.00	Duro



## IL COLORE

Munsell soil color chart

# DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

## CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	<b>non dichiarata</b>	Forma del campione:	<b>cilindrica</b>
Tipo di campionatore (dichiarato):	<b>non dichiarato</b>	Diametro della carota $\phi$ :	<b>85 mm</b>
Contenitore:	<b>fustella metallica</b>	Lunghezza della carota:	<b>500 mm</b>
Diametro esterno $\phi$ del contenitore:	<b>90 mm</b>	Classe di Qualità (dichiarata):	<b>non dichiarata</b>
Lunghezza del contenitore:	<b>610 mm</b>	Società di perforazione che ha prelevato il campione:	<b>non dichiarata</b>
Data di prelievo del campione:	--	Data di apertura Commessa:	09/03/12
Data di consegna del campione:	09/03/12	Data di apertura del campione:	16/03/12
Verbale di ricezione campioni n°:	--	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	16/03/12	Data di fine prova:	16/03/12

SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET PENETR.	VANE TEST	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
	cm	kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
	ALTO	350		$W_1$	
10	> 450	N.E.	Gran. $\gamma_s$		Limo sabbioso e argilloso marrone-olivastro, da molto consistente a duro, a struttura caotica, poco plastico ed inattivo relativamente alle caratteristiche mineralogiche, reattivo ad HCl. Si rinvenivano frammenti di gusci di molluschi (bioclasti).
20	> 450	N.E.	Lim.	TD1	
30	350	N.E.		$W_2$ $\gamma_n$ TD2	
40	400			$W_3$ TD3	
50					
60					
70	BASSO				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità, presentava forma normale con le superfici laterali esterna ed interna sufficientemente lisce e prive di protuberanze visivamente apprezzabili. Il filo della scarpa, di forma normale, era poco arrugginito e non affilato. Il campione era isolato con paraffina (5 mm in alto e 1 mm in basso). Sono stati eseguiti pocket penetrometer test trasversalmente alla carota a 26 cm circa dall'alto, che hanno evidenziato valori di resistenza (nell'ordine dall'esterno verso l'interno) di 400, 450 e 450 kPa. Durante l'esecuzione di tutti i pocket penetrometer test, il campione si è fessurato.

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

Quando chiederli

Esecuzione

Strumenti tarati

Sempre, anche con campioni disturbati (non particolarmente utili su materiali sciolti)

Semplice, tempistiche ridotte, costi bassi

Bilancia e “misuratori” (fustelle e/o calibri)



# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- **Peso di volume dei grani**
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

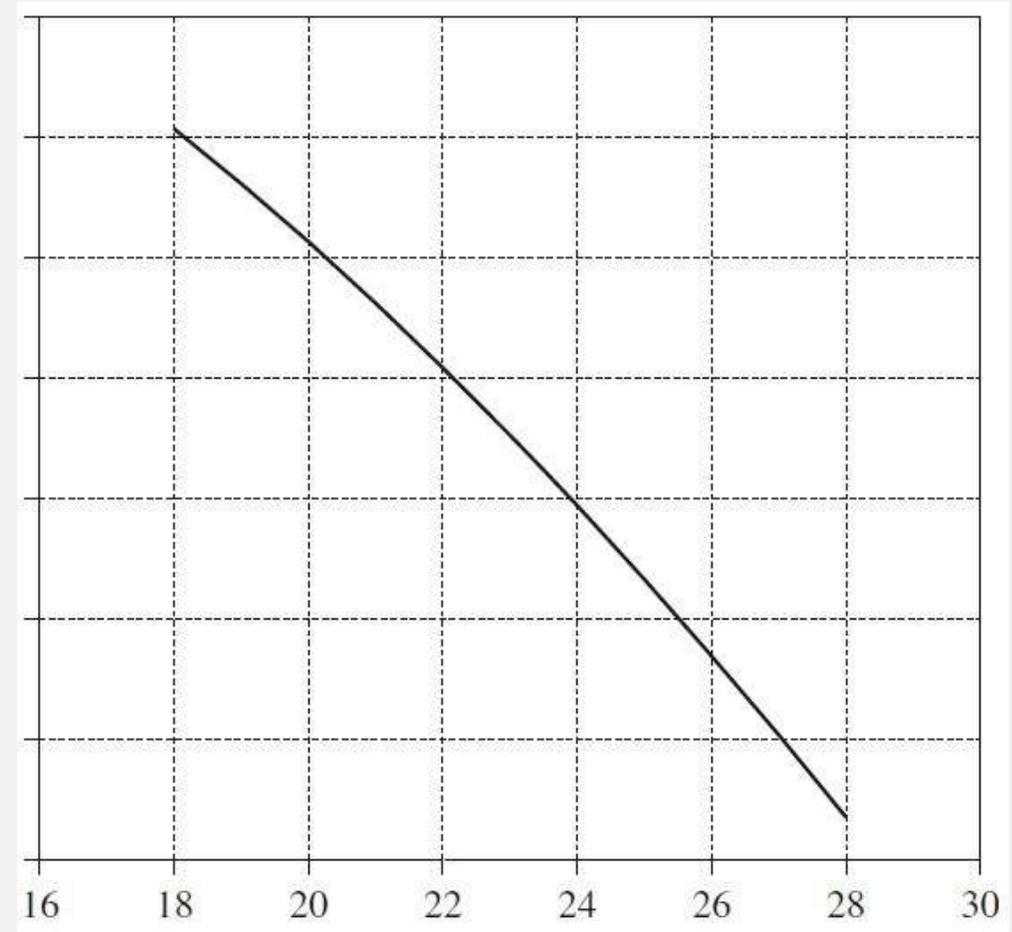


Si ricava il peso di volume delle sole particelle solide (è dimensionale).

Per ricavare il volume delle particelle, si misura il volume d'acqua che il terreno occupa (si fa tramite confronto con un picnometro riempito di sola acqua).

Deve essere sempre nota la temperatura sia del sistema picnometro+acqua+terreno sia del picnometro+acqua.

E' possibile ricavare la curva che definisce il peso del picnometro con la sola acqua alle diverse temperature (curva di calibrazione).



Il risultato è normalizzato ad una specifica temperatura (20° C).  
Il rapporto tra il peso di volume dei grani ed il peso di volume dell'acqua a 20°C definisce il peso specifico assoluto (adimensionale), il quale è indispensabile per eseguire un gran numero di calcoli (es.: indice dei vuoti e quindi la porosità, il grado di saturazione, l'elaborazione della sedimentazione, ecc.)

Quando chiederlo

Sempre in concomitanza di prove meccaniche (in particolare ED e Tx) e della sedimentazione

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche relativamente corte, costo medio

Strumenti tarati

Bilancia e termometro

## proprietà fisiche

sono le caratteristiche dei terreni riferibili a grandezze fisiche (come il peso, il volume e le dimensioni) e geometriche dei grani.

## parametri di stato

sono grandezze che descrivono lo stato “naturale” del terreno, e dipendono dallo stato tensionale e “*deformazionale*” (presente e passato): il peso di volume, il grado di saturazione la compressibilità sono alcuni esempi di parametri di stato.

## parametri indice

caratterizzano il terreno indipendentemente dallo stato in cui si trova in sito

la porosità è un parametro di stato in quanto dipende dallo stato tensionale, mentre il peso di volume dei grani è un parametro indice, in quanto non dipende da nessuna peculiarità caratteristica riscontrabile in sito.

# PROVE FISICHE

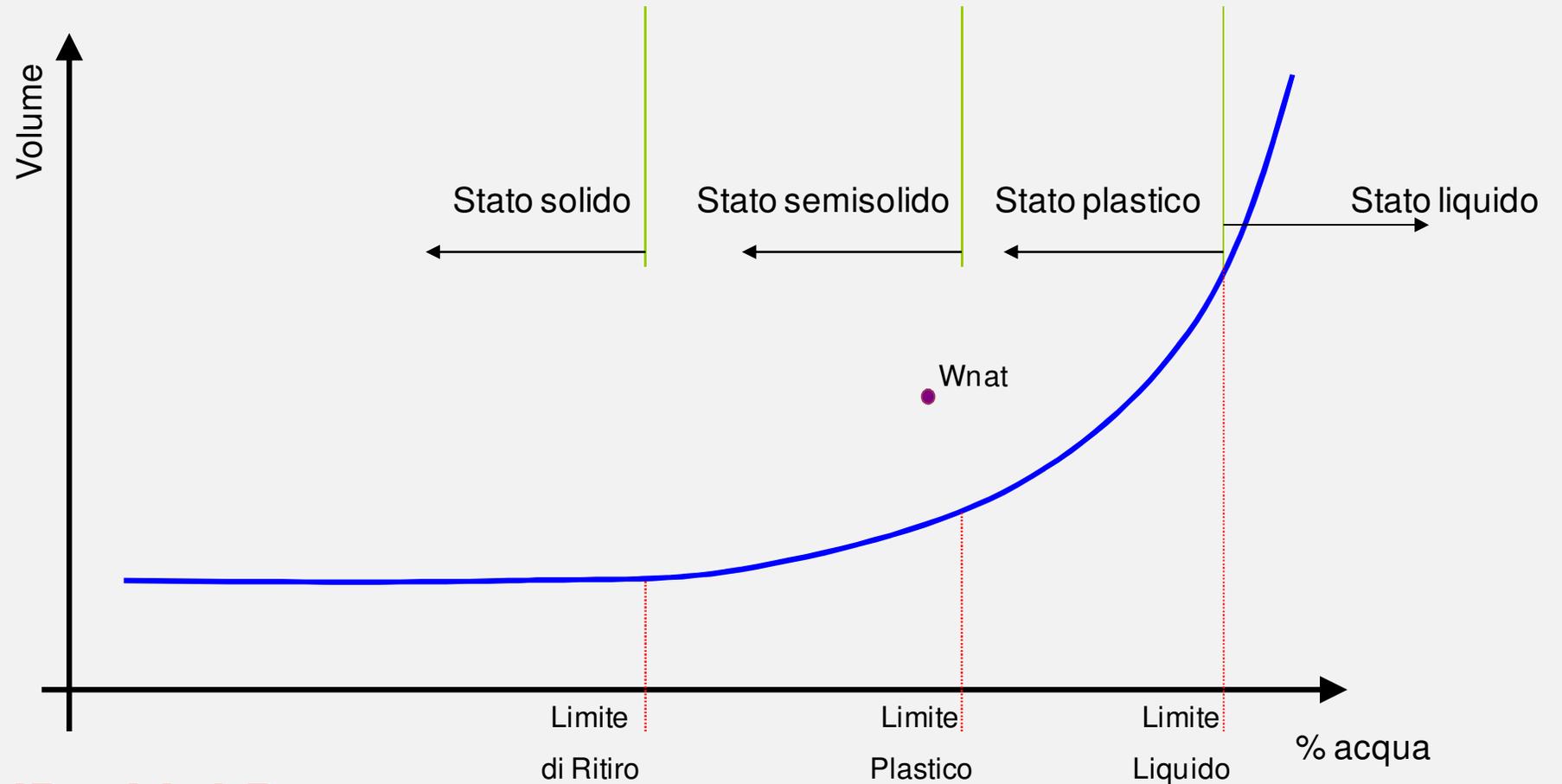
- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

# Limiti di Atterberg

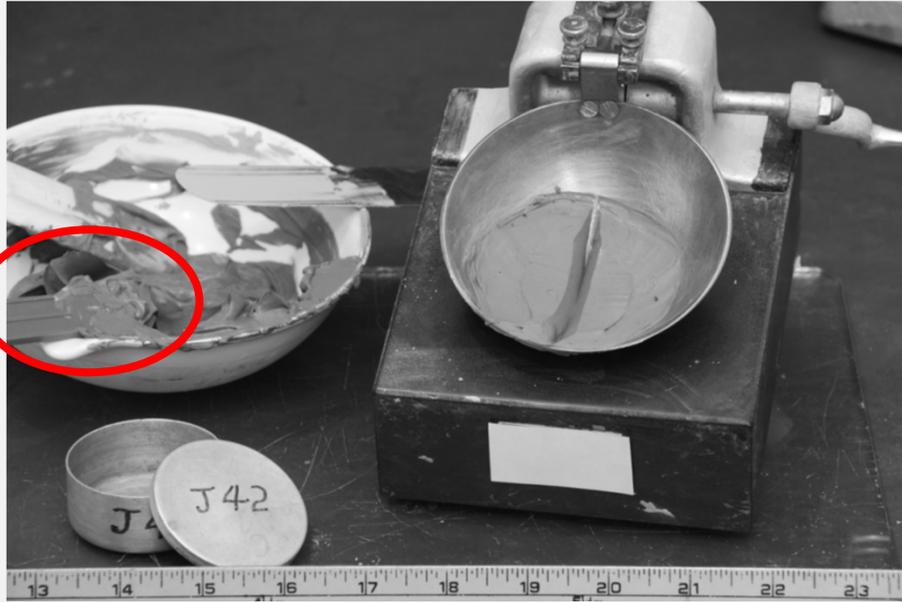
Limite Liquido

Limite Plastico

Limite di Ritiro



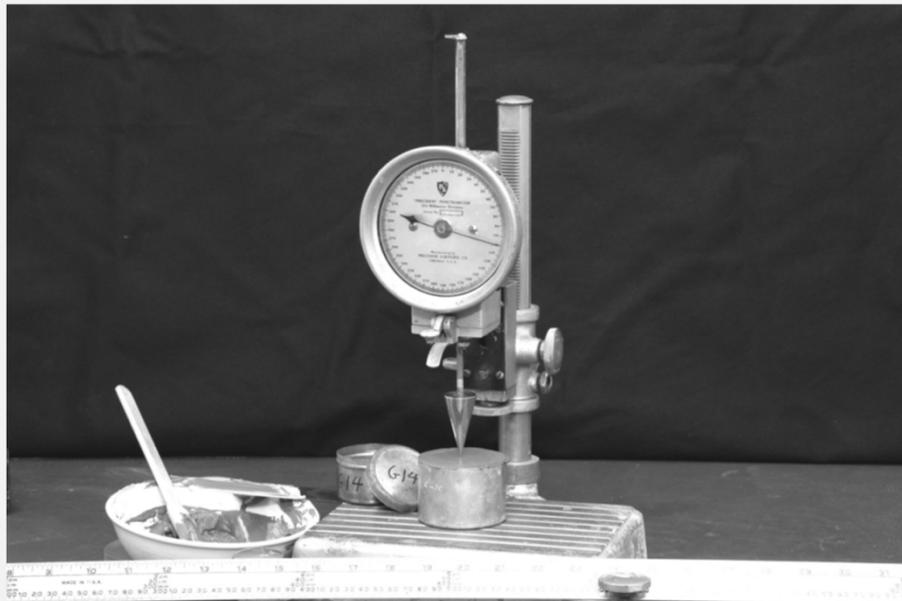
***Indice Plastico  $IP = LL-LP$***



Coppella di  
Casagrande



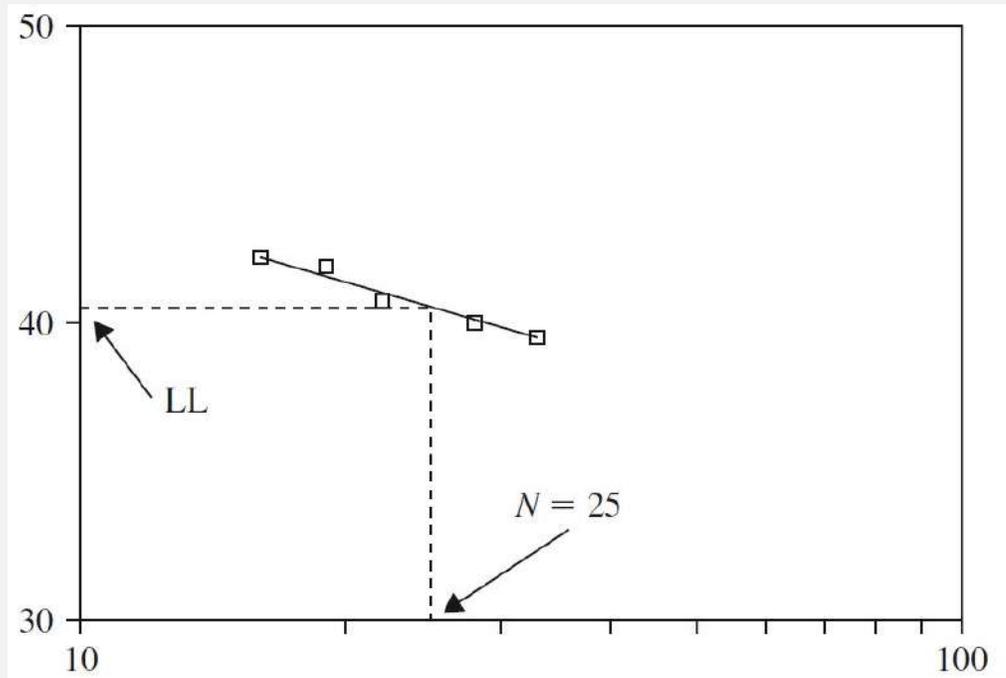
Rollatura del  
bastoncino



Cono  
"inglese"



Metodo a  
cera



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione  
Stefano Cianci 17/03/2023

**CARATTERISTICHE DI PLASTICITÀ**

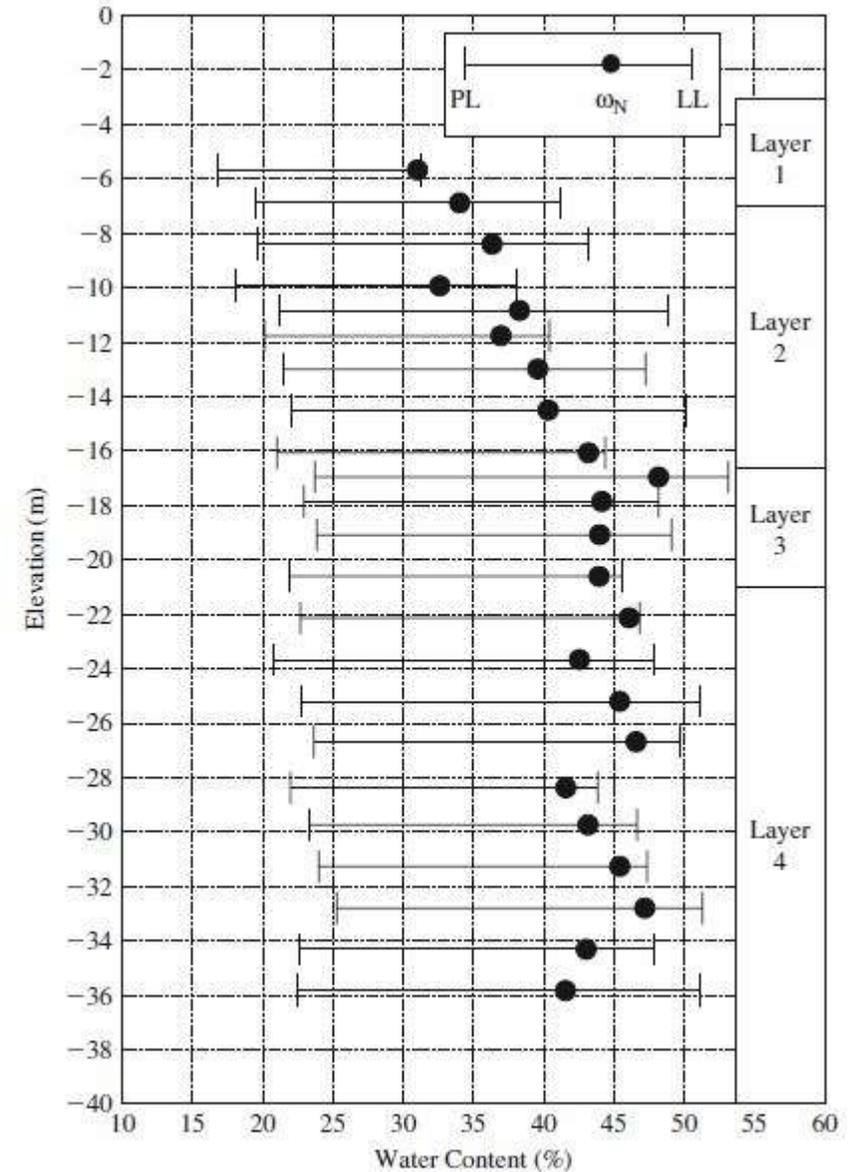
Indice Plastico IP	Caratteristiche di plasticità del terreno
$0 < IP \leq 5$	Non plastico
$5 < IP \leq 15$	Poco plastico
$15 < IP \leq 40$	Plastico
$IP > 40$	Molto plastico

**CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA**

Indice di Consistenza IC	Condizione	Caratteristiche di consistenza del terreno
$IC < 0$	$W_n > W_{ll}$	Fluida
$0.00 < IC \leq 0.25$	$W_n < W_{ll}$	Fluido-plastica
$0.25 < IC \leq 0.50$		Molle-plastica
$0.50 < IC \leq 0.75$		Plastica
$0.75 < IC \leq 1.00$		Solido-plastica
$IC > 1$	$W_n > W_{lr}$	Semisolida
$IC > 1$	$W_n < W_{lr}$	Solida

**CARATTERISTICHE DI ATTIVITÀ**

Attività A	Caratteristiche di attività del terreno
$A < 0,75$	Inattivo
$0,75 < A < 1,25$	Normalmente Attivo
$A > 1,25$	Attivo



Quando chiederli

LL + LP sempre se il materiale è fine e comunque se  
necessitate di una classificazione LR nel caso di  
cedimenti e rigonfiamenti

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche relativamente  
corte (qualche giorno), costo medio

Strumenti tarati

Bilancia (e calibrazione della Coppella)

# PROVE FISICHE

- Apertura e descrizione
- Contenuto naturale d'acqua
- Peso di volume naturale
- Peso di volume dei grani
- Limiti di Atterberg
- Granulometria

**Vagliatura** Eseguita sulla frazione grossolana, definisce certamente la percentuale di ghiaia ma non sempre la sabbia (dipende dalla norma).

Utilizza setacci (bossoli in acciaio con rete metallica a maglia quadrata) con nomenclatura differente secondo lo slot (apertura nominale o luce netta in mm) o del mesh size (numero di fili della maglia per pollice).

Espressa in % di materiale secco cumulato (usualmente approssimata all'intero)

**Sedimentazione** Eseguita sulla frazione fine (minore di circa 0,07 mm, secondo la norma), definisce certamente la percentuale di argilla ma non sempre il limo.

Utilizza una miscela di acqua e terreno (ed elementi ossidanti ed anti-addensanti), la cui variazione di densità nel tempo (causa sedimentazione delle particelle) determina il “movimento” del densimetro (areometro); è detta anche areometria.

E' espressa in % (usualmente approssimata all'intero).



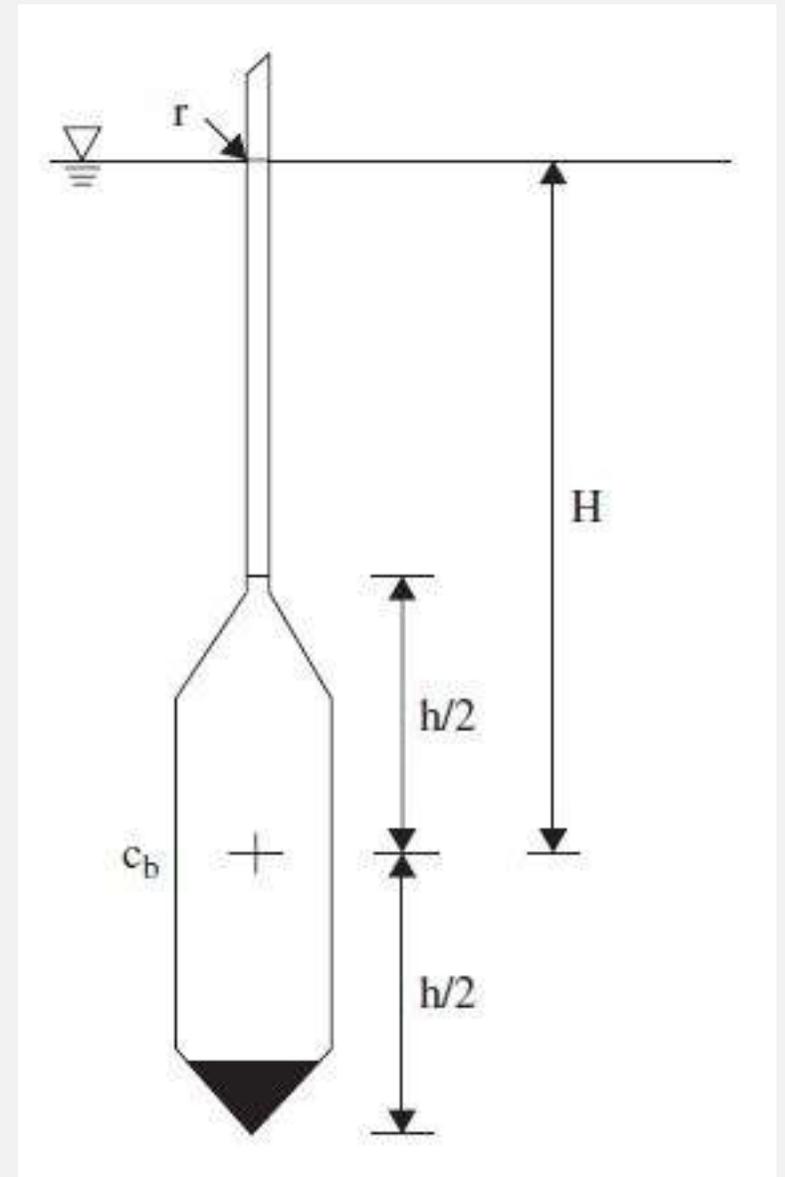
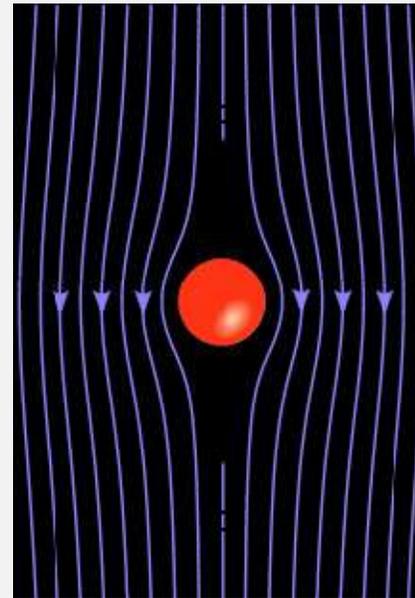
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione  
Stefano Cianci 17/03/2023

L'analisi granulometrica per setacciatura viene eseguita con una serie di setacci, sovrapposti con apertura via via decrescente dall'alto verso il basso, fatti vibrare in modo che i granuli vengano separati in frazioni pressoché uguali e trattenuti nei setacci col diametro corrispondente. La colonna di setacci viene generalmente appoggiata su uno scuotitore meccanico, chiamato "vibrovaglio". Il vibrovaglio scuote la colonna per un determinato lasso di tempo, passato il quale si procede alla pesatura delle frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio.

**SECCA** viene eseguita sul terreno tal quale se la frazione fine è estremamente ridotta ( $< 10\%$ )

**UMIDA** Il terreno viene lavato con acqua col setaccio N200 (o N230 secondo la norma): il passante viene sottoposto a sedimentazione, il trattenuto a vagliatura

L'analisi granulometrica per sedimentazione sfrutta le caratteristiche del densimetro ed applica la legge di Stokes sulla sedimentazione delle particelle in un mezzo (acqua con elementi ossidanti ed anti-addensanti). Si assume sferica la forma delle particelle con sedimentazione in assenza di moti turbolenti. Dipende dalla viscosità del mezzo, dal tempo e dal peso specifico assoluto.



Quando chiederla

Sempre

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche non corte  
(qualche giorno), costo medio-alto

Strumenti tarati

Bilancia, termometro + areometro e setacci  
“calibrati”

Coefficiente di uniformità

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Cu = 194 ca.

Coefficiente di curvatura

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

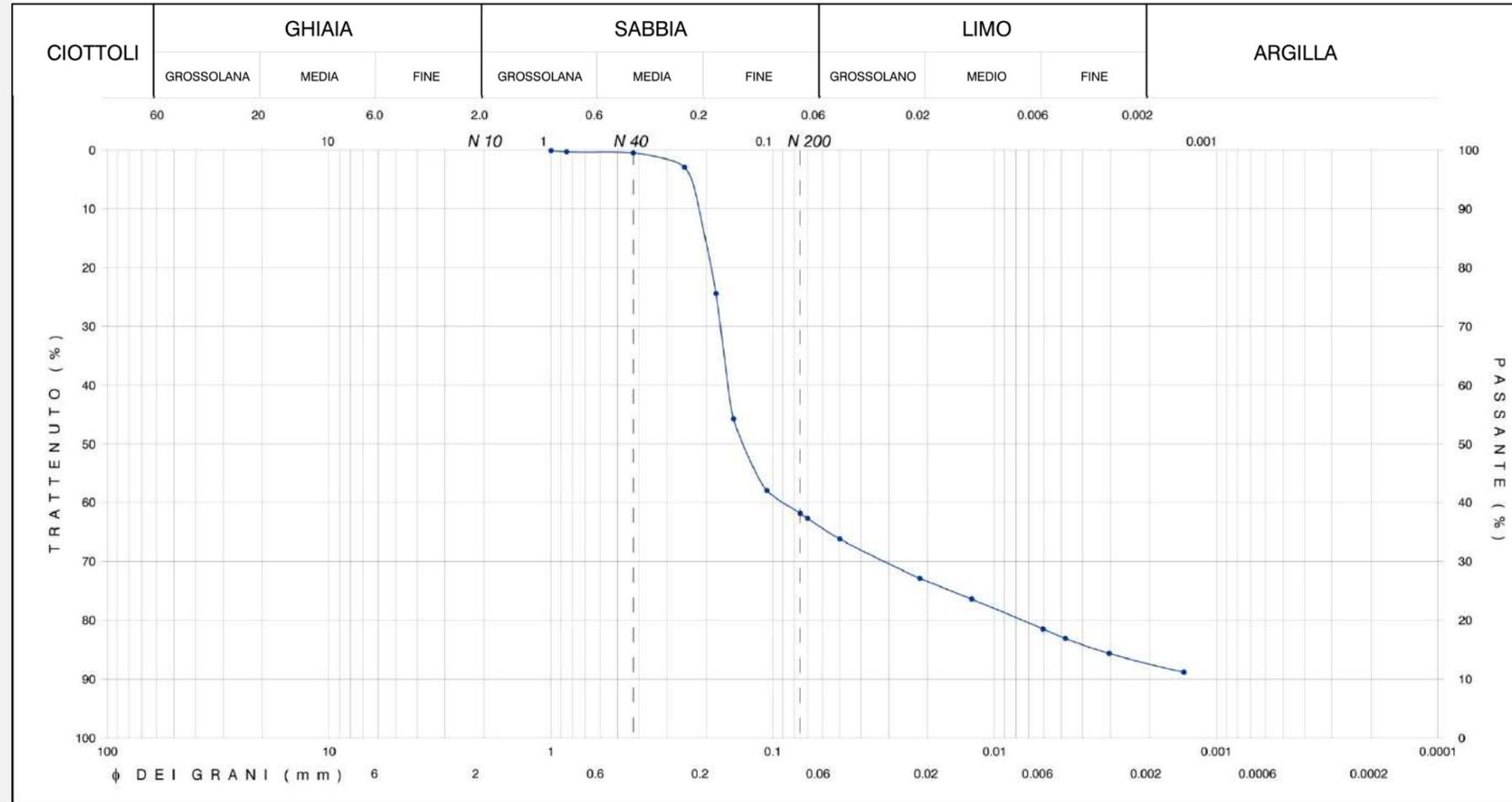
Cc = 7,3 ca.

# ANALISI GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: SABBIA LIMOSA E ARGILLOSA.

GHIAIA > 2 mm	0	%	SABBIA 0.06 - 2 mm	64	%	LIMO 0.002 - 0.06 mm	23	%	ARGILLA < 0.002 mm	13	%
PASSANTE AI SETACCI	N 10 2 mm	100	%	N 40 0.425 mm	99	%	N 200 0.075 mm	38	%		



# SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE

U.S.C.S. (A.S.T.M. D1140)

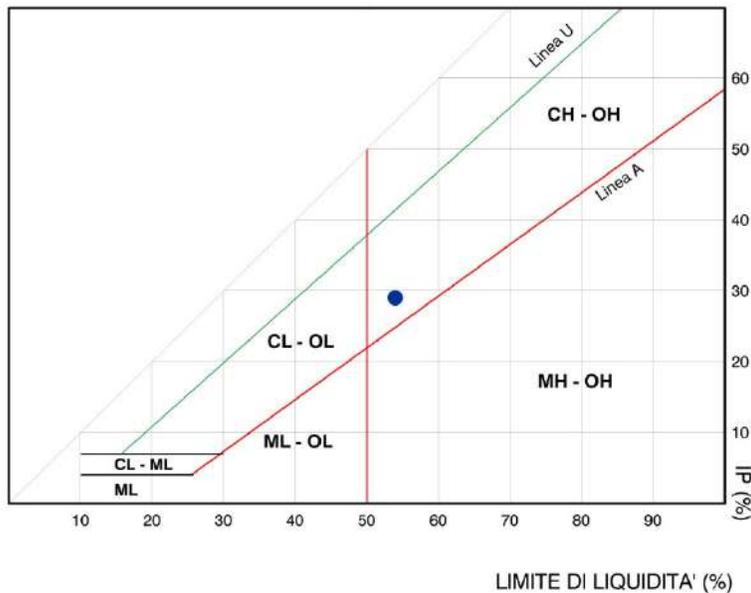
UNI 11531 (sostituisce in toto UNI 10006)

Terreni a grana grossa passante al 200 $\leq$ 50%	Gruppo	Descrizione	Sottogruppo	Caratteristiche
	G	Ghiaie La maggior parte della frazione è trattenuta al setaccio 4.		GW
GP				fine < 5%;
GM				fine > 12%; $PI < 4$ o sotto retta A
GC				fine > 12%; sopra retta A con $PI > 7$
S	Sabbie La maggior parte della frazione passa al setaccio 4.		SW	fine < 5%; $U > 6$ $1 < C < 3$
			SP	fine < 5%;
			SM	fine > 12%; $PI < 4$ o sotto retta A
			SC	fine > 12%; sopra retta A con $PI > 7$

Terreni a grana fine passante al 200 > 50%	Gruppo	Descrizione	Sottogruppo	Caratteristiche
	C	Argille inorganiche		CL
CH				$W_L > 50\%$
M	Limi inorganici		ML	$W_L < 50\%$
			MH	$W_L > 50\%$
O	Limi e argille organici		OL	$W_L < 50\%$
			OH	$W_L > 50\%$

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm $\leq$ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%					Torbe e terre organiche palustri	
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7			A8
Gruppo	A1-a		A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
Sottogruppo	A1-a		A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
Frazione passante allo staccio														
2 mm	$\leq 50$		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4 mm	$\leq 30$		$\leq 50$	$> 50$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.063 mm	$\leq 15$		$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$> 35$	$> 35$	$> 35$	$> 35$	$> 35$	$> 35$
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm														
LL (Limite liquido)	-		-	-	$\leq 40$	$> 40$	$\leq 40$	$> 40$	$\leq 40$	$> 40$	$\leq 40$	$> 40$	$> 40$	$> 40$
IP (Indice di plasticità)	$\leq 6$		$\leq 6$	N.P.	$\leq 10$	$\leq 10$	$> 10$	$> 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	$> 10$	$> 10$	$> 10$	$> 10$
Indice di gruppo	0		0	0	0				$\leq 4$	$\leq 8$	$\leq 12$	$\leq 16$	$\leq 20$	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane			Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi molto compressibili	Argille poco compressibili	Argille molto compressibili e mediamente plastiche	Argille molto compressibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazione e, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellente a buono							Da mediocre a scadente					Da scartare	
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media			
Ritiro e rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Medio			
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla						

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



# PROVE CON L'EDOMETRO

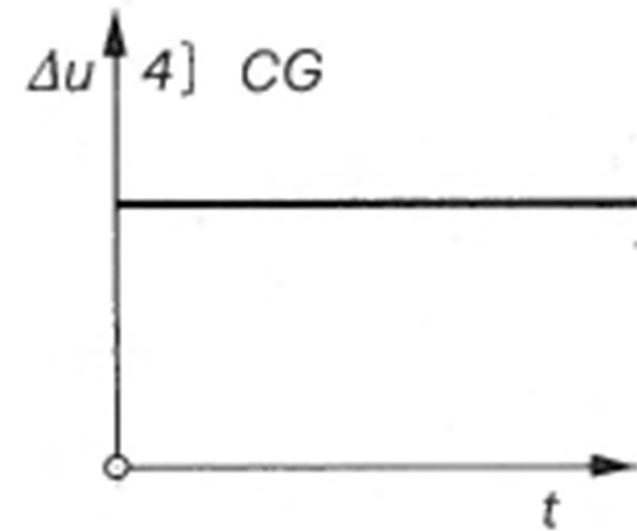
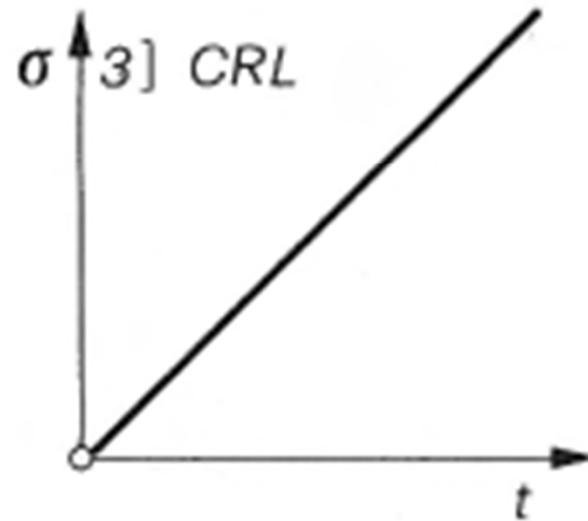
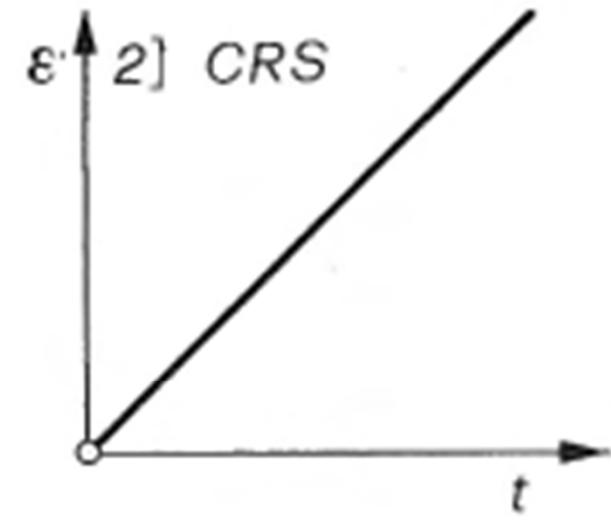
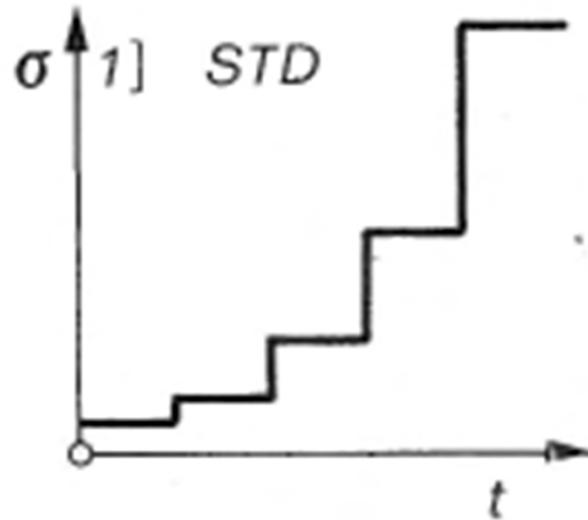
- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta

Incrementi di carico

Deformazione costante

Incremento di carico costante

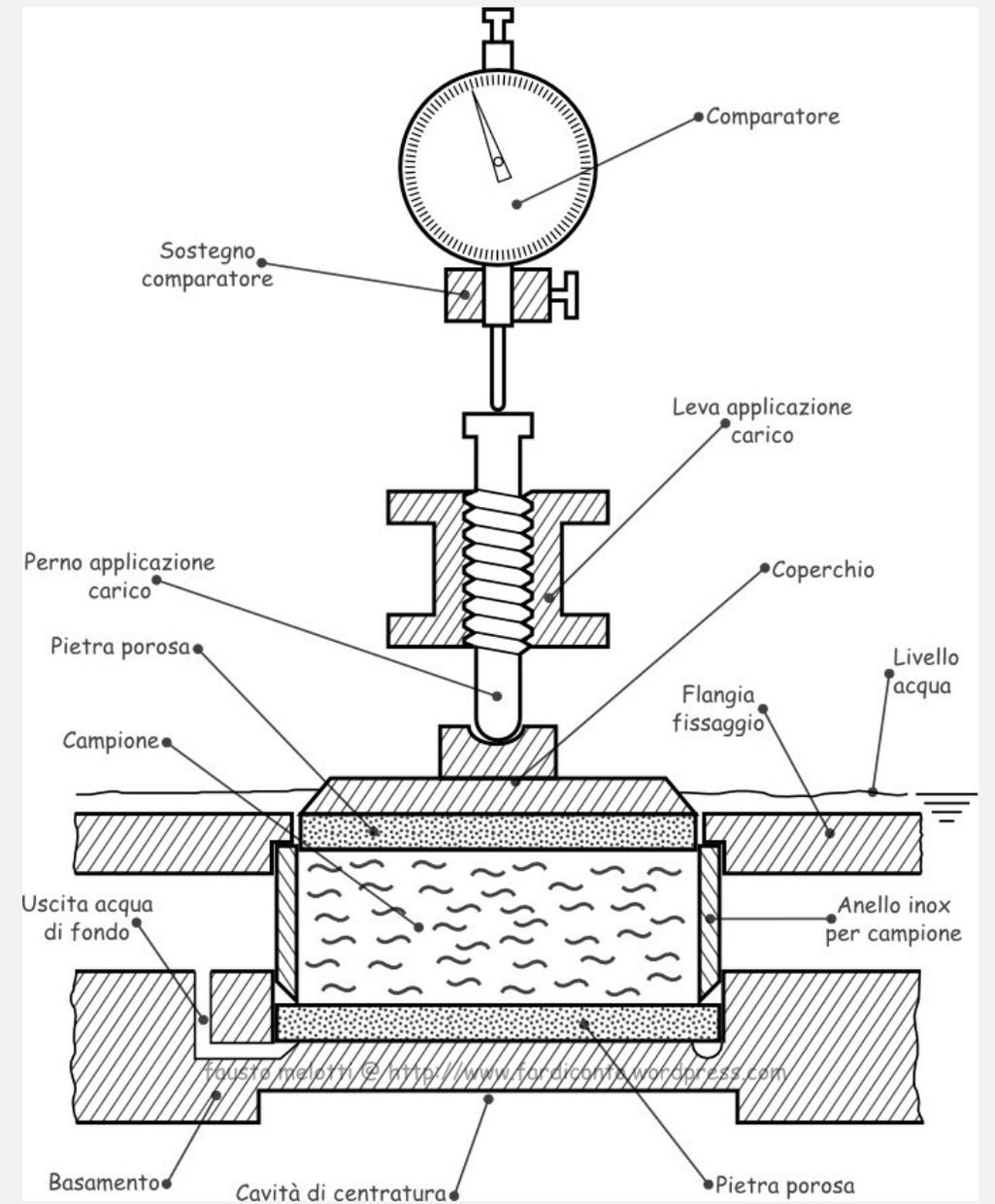
Carico idraulico costante



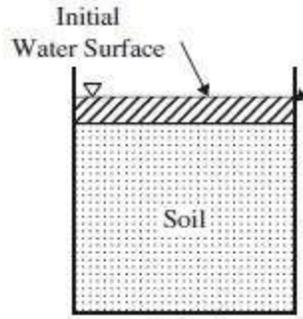


## CONDIZIONI EDOMETRICHE

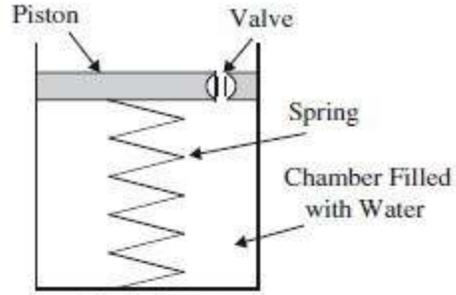
- carico assiale uniformemente distribuito;
- assenza di deformazioni laterali;
- terreno saturo
- materiali fini più “interessanti”



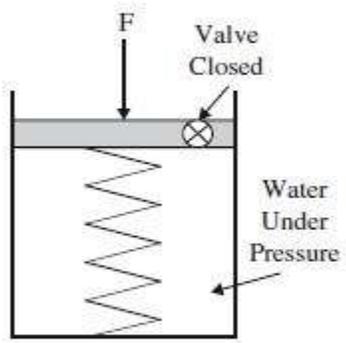
Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione  
Stefano Cianci 17/03/2023



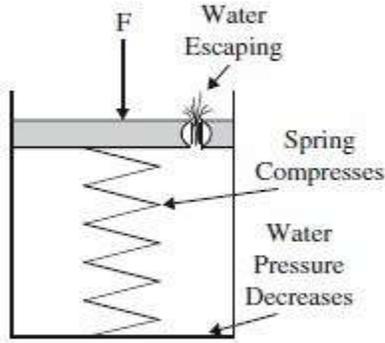
(a) Soil



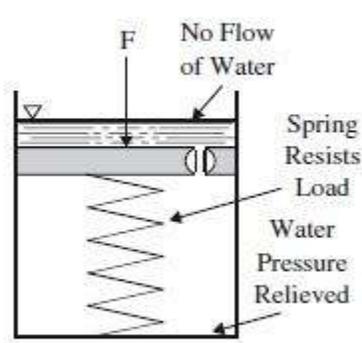
(b) Analogy



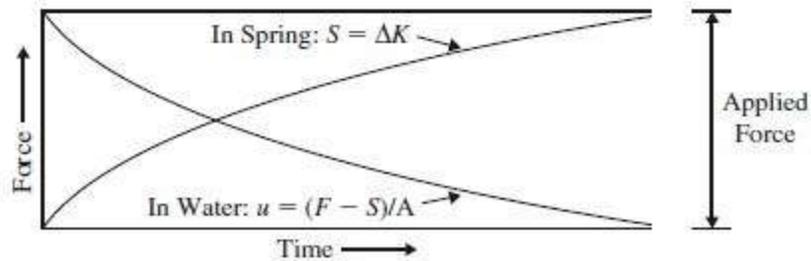
(c)



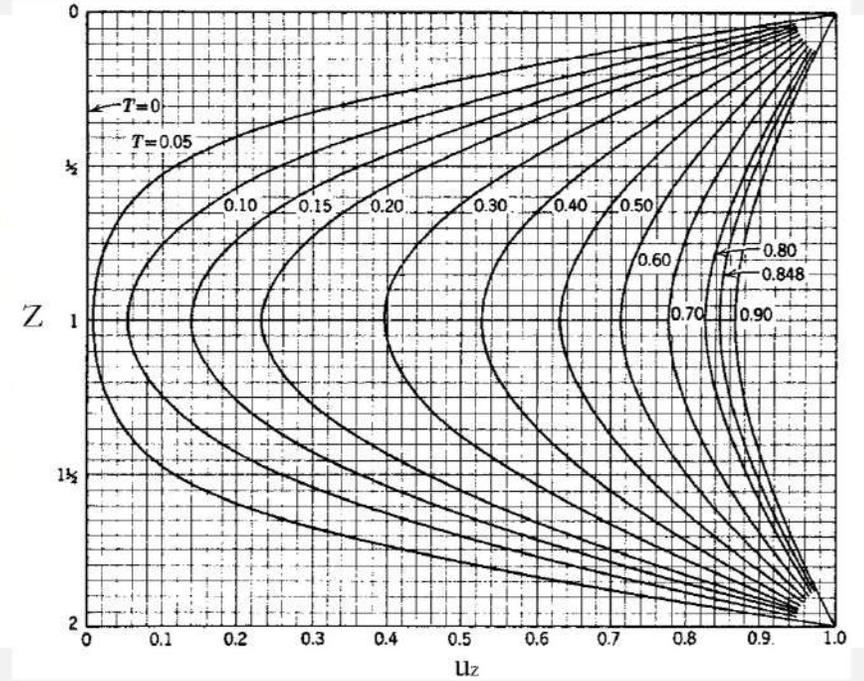
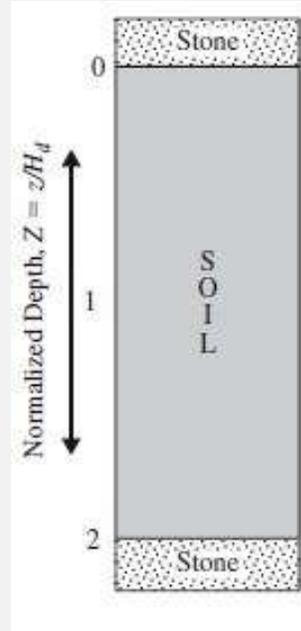
(d)



(e)



(f)



# PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

## MISURAZIONI ACQUISITE

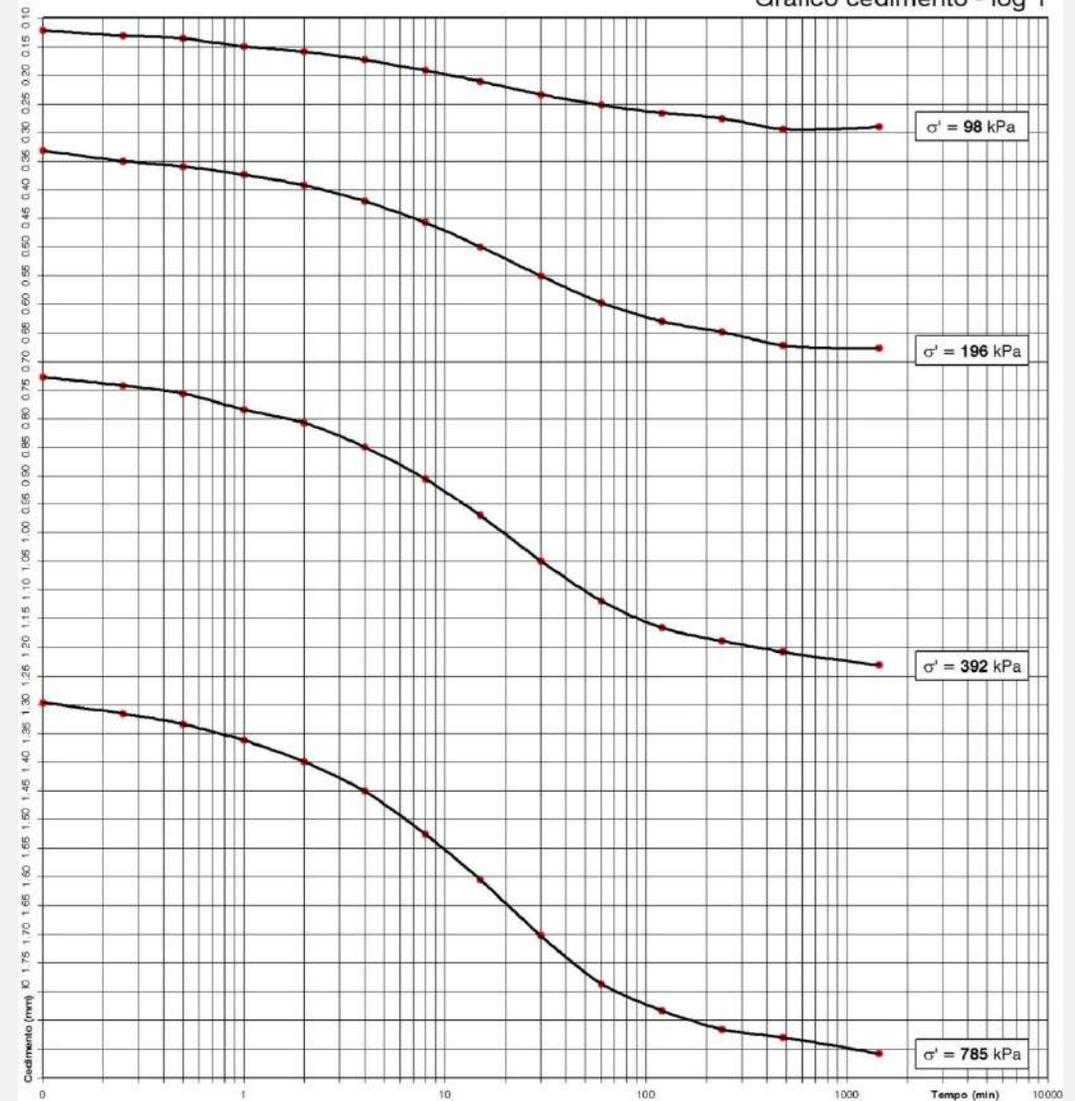
Pressione (kPa)	49	98	196	392	785	1570	392	98	49												
Data (gg/mese)	31/1	1/2	2/2	3/2	4/2	7/2	8/2	8/2	9/2												
Tempi	Cedimenti (mm)																				
0'	0,00	0,08	0,29	0,68	1,23	1,94	2,76	2,39	1,87												
6'	0,03	0,12	0,33	0,73	1,30																
15'	0,04	0,13	0,36	0,74	1,32																
30'	0,05	0,14	0,36	0,76	1,33																
1'	0,06	0,15	0,37	0,78	1,36																
2'	0,06	0,16	0,39	0,81	1,40																
4'	0,07	0,17	0,42	0,85	1,45																
8'	0,08	0,19	0,46	0,90	1,53																
15'	0,08	0,21	0,50	0,97	1,60																
30'	0,09	0,23	0,55	1,05	1,70																
60'	0,09	0,25	0,60	1,12	1,79																
120'	0,10	0,27	0,63	1,17	1,83																
240'	0,09	0,28	0,65	1,19	1,87																
460'	0,08	0,29	0,67	1,21	1,88																
1440'	0,08	0,29	0,68	1,23	1,91	2,76	2,39	1,87	1,61												
2880'					1,93																
4320'					1,94																

Note:

# PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

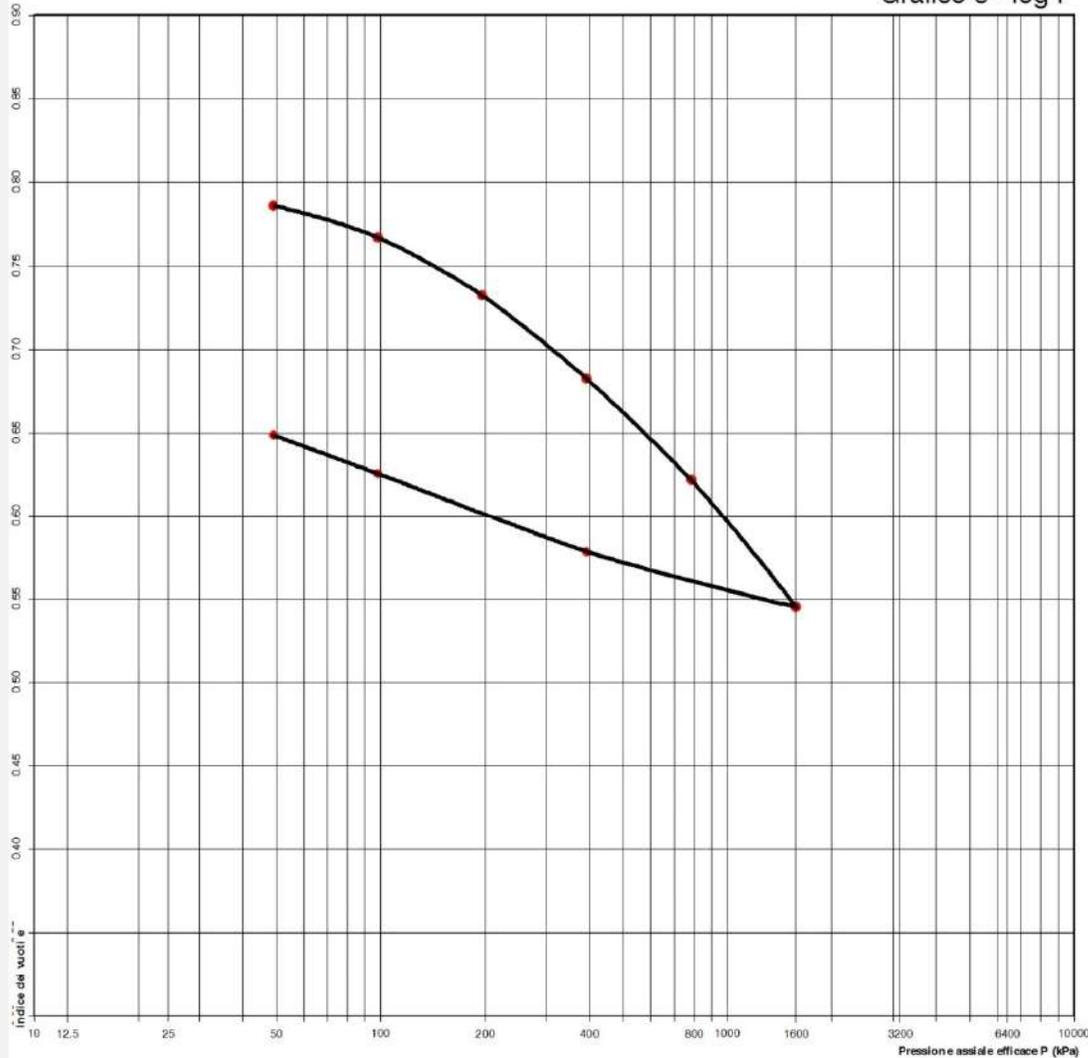
Grafico cedimento - log T



# PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

Grafico e - log P



Si possono ottenere:

Modulo edometrico  $E'$  (drenato, confinato)

Coefficiente di consolidazione primaria  $C_v$

Coefficiente di consolidazione secondario  $C_a$

Coefficiente di permeabilità  $k$

Indice di ri-compressione  $C_r$

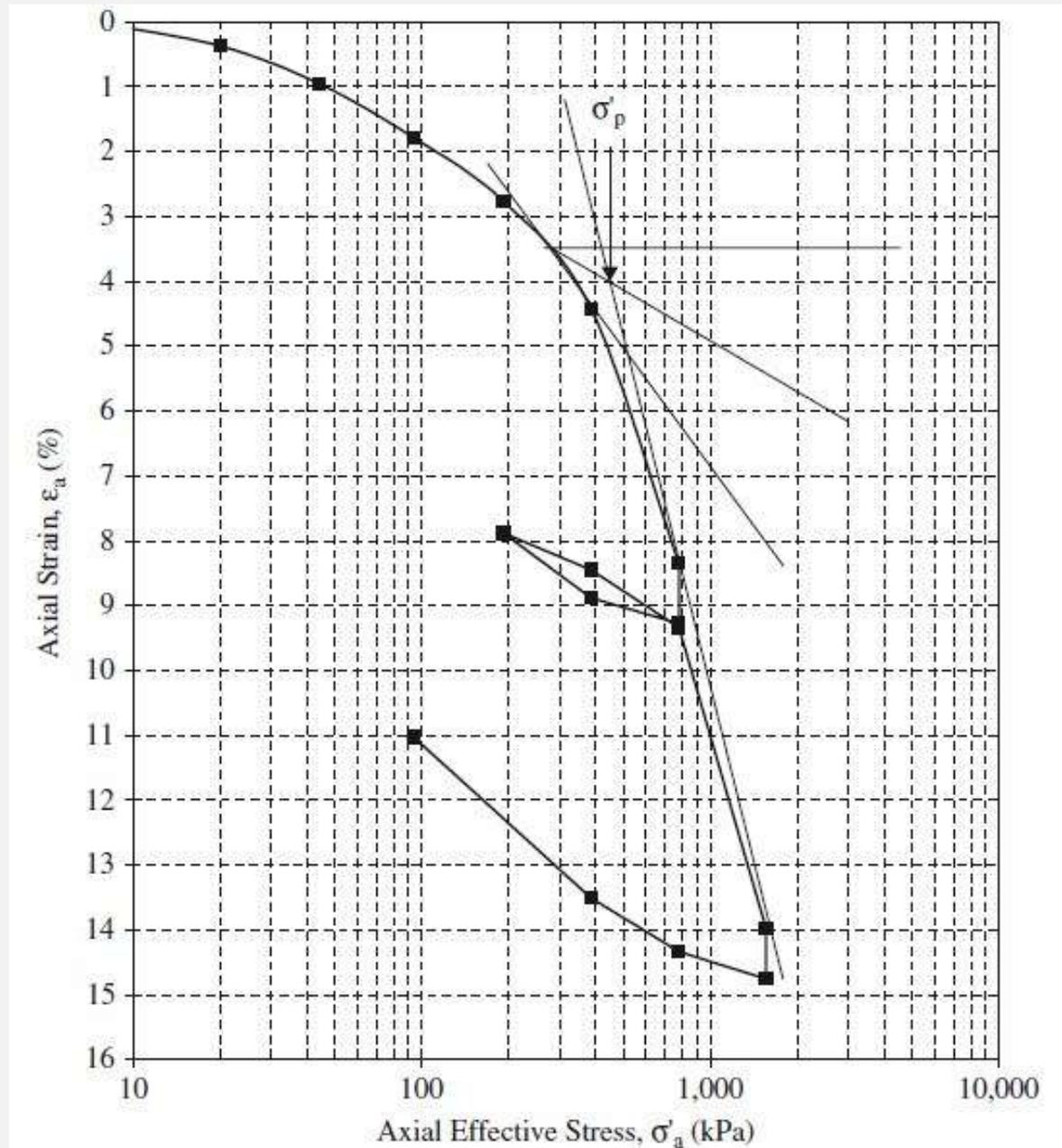
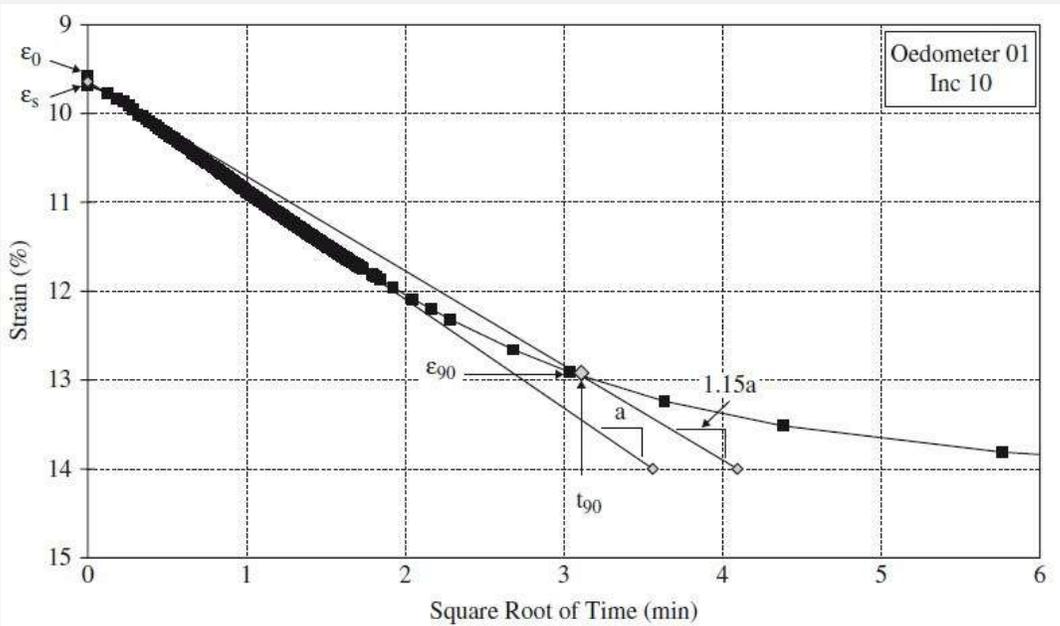
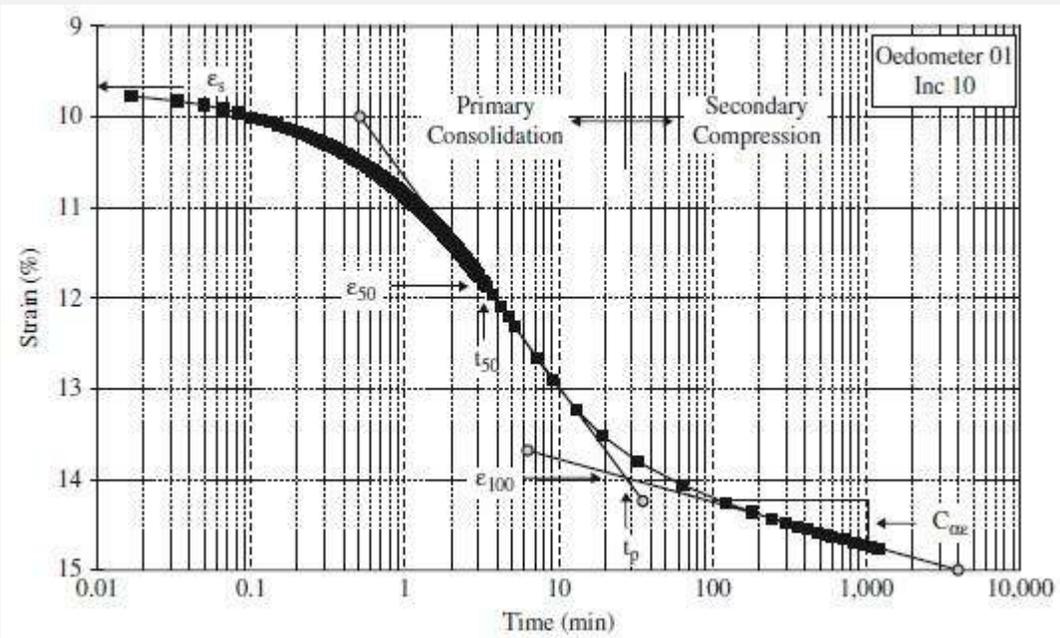
Indice di compressibilità  $C_c$

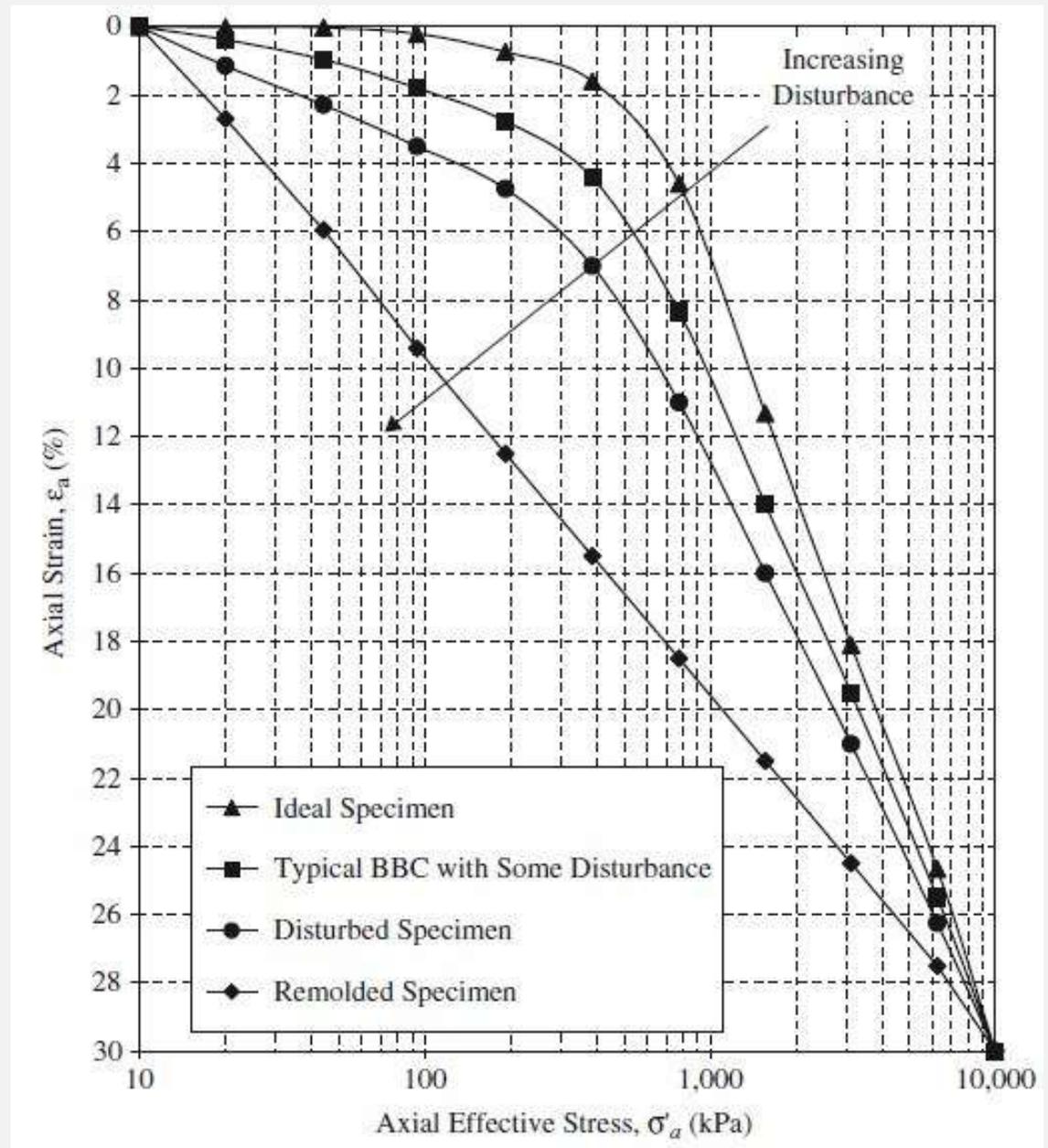
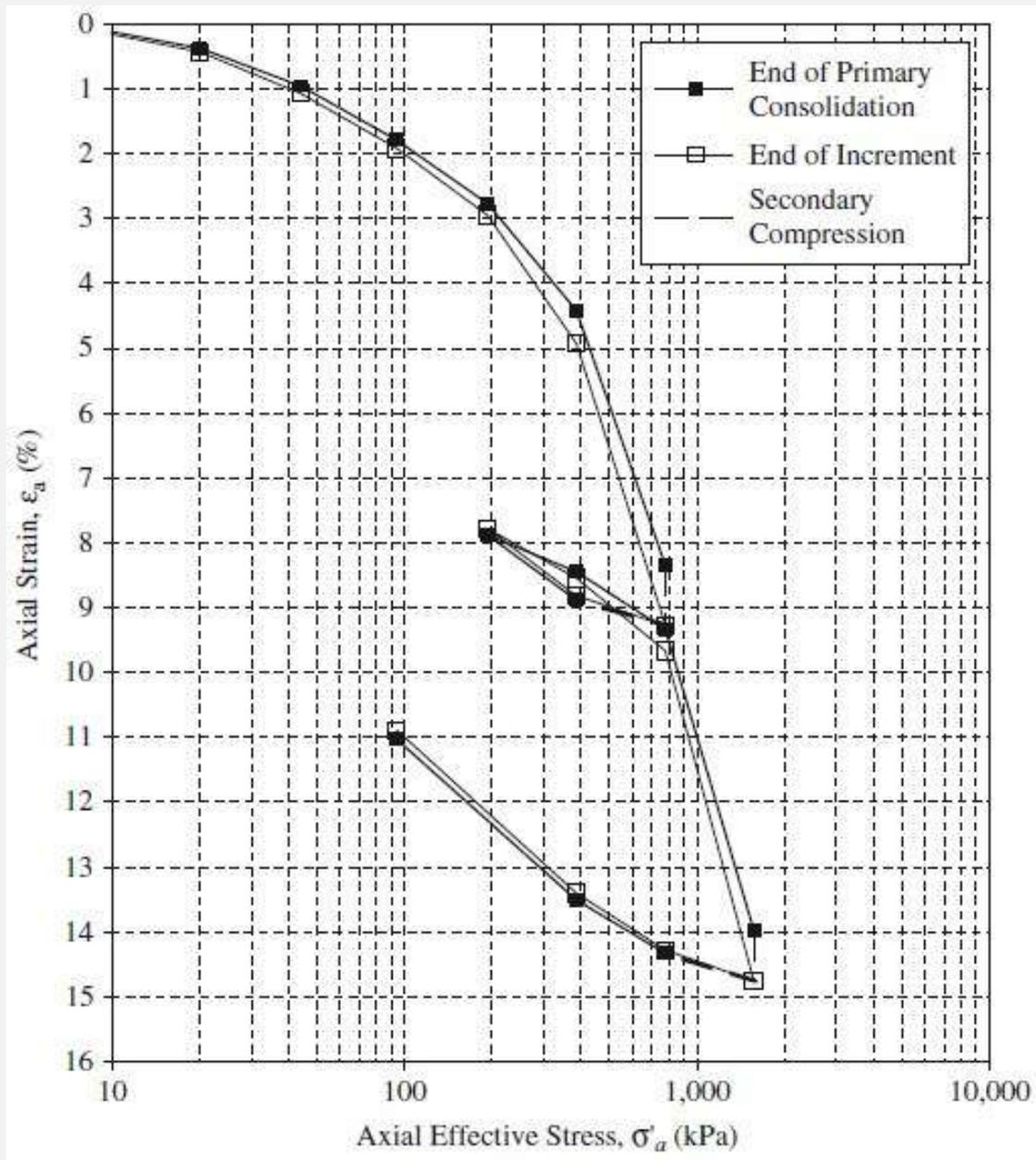
Indice di rigonfiamento  $C_s$

Pressione di preconsolidazione  $P_c$

Grado di sovraconsolidazione OCR

(se nota la pressione efficace agente in sito)





Quando chiederla

Sempre in presenza di terreni comprimibili e fini

Esecuzione

Mediamente complessa, tempistiche lunghe (circa 2 settimane), costo medio-basso

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli

# PROVE CON L'EDOMETRO

- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta

Le prove di rigonfiamento eseguite tramite edometro si dividono in tre tipologie:

prove atte a determinare la pressione di rigonfiamento a volume costante;

prove atte a determinare la deformazione di rigonfiamento a pressione costante;

prove atte a determinare il potenziale di rigonfiamento.



In cella edometrica si satura il provino mantenendolo confinato (nessuna deformazione, volume costante) con un alto carico non agente. Si riduce man mano il carico agente fino a che il terreno non mostra la tendenza a rigonfiare, verificando a quale pressione tale comportamento si manifesta



In cella edometrica si satura il provino sottoponendolo a deformazione ad una pressione prossima a quella in sito (o, meglio, alla pressione di preconsolidazione, se nota). Si scarica il materiale annotando per ogni carico le deformazioni

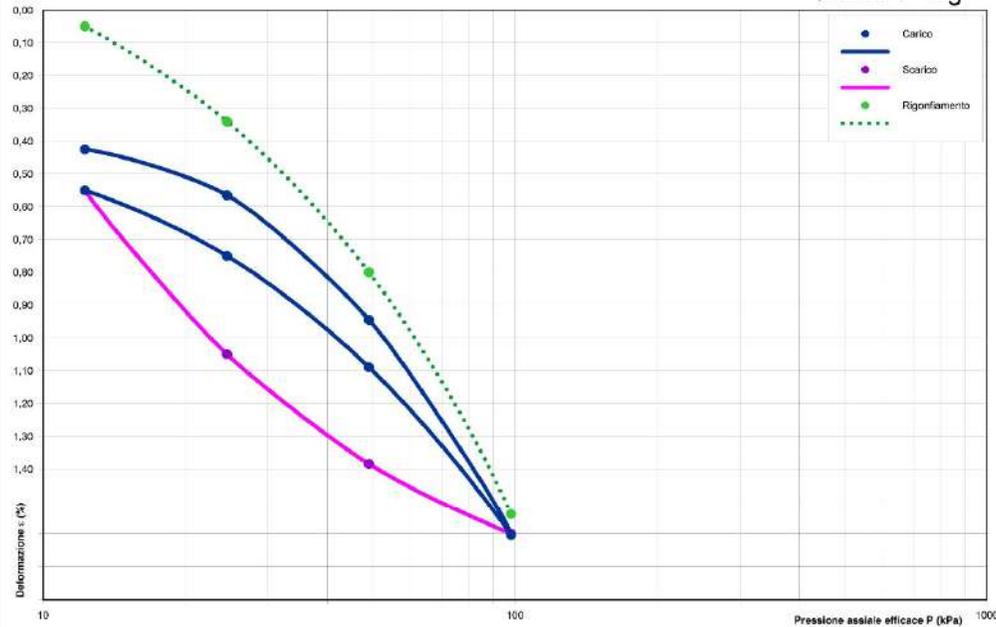


Metodo di Huder-Amberg.

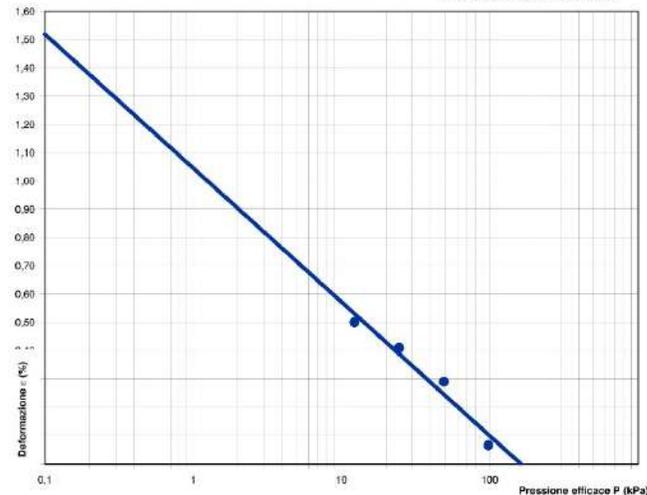
# PROVA DI RIGONFIAMENTO HUDER-AMBERG

(Istruzioni Tecniche n° 13 - Procedure Interne, scheda 13C)

Grafico  $\varepsilon$  - log P



Note:



Particolarmente adatta per terreni sovraconsolidati

si ricava la pressione di rigonfiamento

si ricava il rigonfiamento potenziale in relazione alle tensioni agenti

Quando chiederle

In presenza di terreni potenzialmente rigonfianti (es.: nel caso di scavi)

Esecuzione

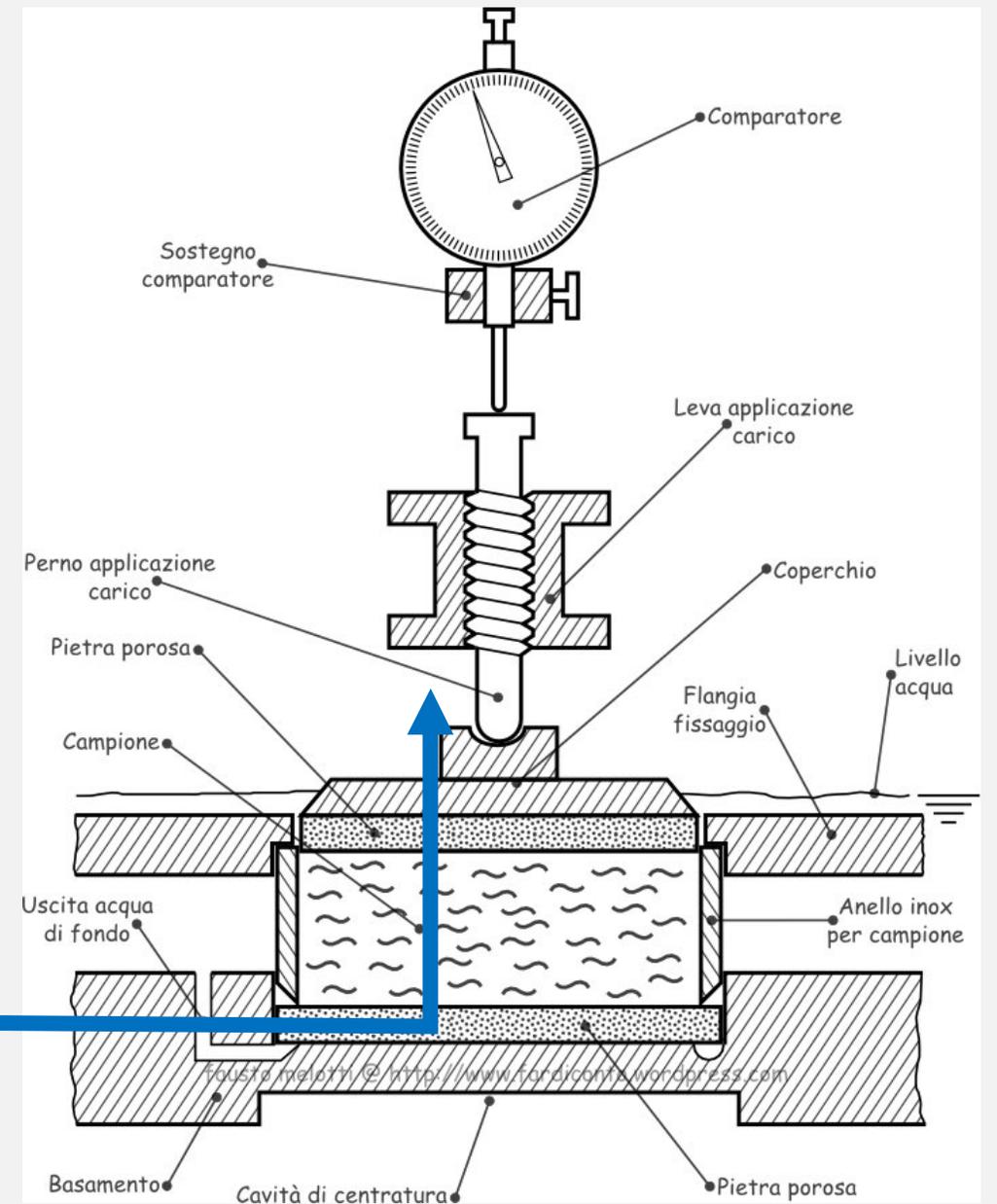
Mediamente complessa, tempistiche medie (qualche giorno), costo medio-basso

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli

# PROVE CON L'EDOMETRO

- Edometrica
- Rigonfiamento
- Huder-Amberg
- $K_0$
- Permeabilità diretta



Le prove geotecniche di laboratorio: scelta e valutazione  
Stefano Cianci 17/03/2023

Quando chiederle

In presenza di terreni impermeabili o da utilizzare come barriera impermeabile (discariche, arginature)

Esecuzione

Mediamente complessa (principalmente legata alla corretta impermeabilizzazione dei “contatti”), tempistiche medie (qualche giorno, dipende dalla K del terreno), costo medio-basso

Strumenti tarati

Bilancia, comparatori, buretta. Necessita del peso specifico assoluto per i calcoli